

Prevendo os níveis de poluição fecal na água e nos moluscos produzidos em fazendas marinhas das baías da Ilha de Santa Catarina

Robson Ventura de Souza¹, Carlos José Alexandre de Campos², Luis Hamilton Pospissil Garbossa³ e Walter Quadros Seiffert⁴

Resumo – Modelos matemáticos vêm sendo utilizados ao redor do mundo para prever os níveis de poluição em áreas costeiras e comunicar ao público quando a segurança para banho ou consumo de moluscos pode estar comprometido. Estudos recentes da Epagri desenvolveram modelos baseados em regressão que permitem prever os níveis de coliformes em áreas utilizadas para o cultivo de moluscos nas baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina. Este trabalho apresenta os principais achados desses estudos de forma didática e sugere aplicações práticas para técnicos da área de maricultura, pesca e gestão de recursos hídricos que atuam na região.

Termos para indexação: Saúde pública; modelos matemáticos; aquicultura; balneabilidade.

Predicting the levels of faecal pollution in water and molluscs produced on marine farms in the bays of the Santa Catarina Island

Abstract – Mathematical models have been used around the world to predict pollution levels in coastal areas and to communicate to the public when safety for bathing or shellfish consumption may be compromised. Recent studies conducted by Epagri have developed regression-based models that allow predicting the coliform levels in areas used for mollusc farming in the North and South bays of Santa Catarina Island. The present document presents the main findings of these studies in a didactic way and suggests practical applications for technicians in the area of mariculture, fishing and water resources management in the region.

Index terms: Public health; Mathematical models; Aquaculture; Balneability.

Introdução

As águas costeiras das baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina (SC) formam um ambiente de múltiplos usos: são utilizadas como local de pesca ou como ponto de partida por pescadores profissionais e amadores; abrigam o maior número de áreas de produção de moluscos do Brasil; e recebem grande quantidade de banhistas em praias de alto interesse turístico (em torno de 1,5 milhão de turistas por ano) (SANTUR, 2017). Infelizmente, essas águas vêm sofrendo as consequências da rápida urbanização e insuficiente cobertura com rede de coleta e tratamento de esgoto nas bacias hidrográficas que deságuam na costa. Enquanto a população brasileira aumentou 29,9% de 1991 a 2010, as cidades que formam a região da Grande Florianópolis apre-

sentaram crescimento populacional de 66,2% (SOUZA, 2017). Um diagnóstico realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico do Ministério das Cidades em 2016 revelou que o índice médio de atendimento da população com rede de coleta de esgotos em Santa Catarina era de apenas 28%, o que posicionava o estado em 19º na pesquisa, entre as 27 unidades da federação (MDR, 2017).

Para reduzir os riscos microbiológicos relacionados ao contato com águas costeiras ou ao consumo de moluscos bivalves, modelos matemáticos vêm sendo utilizados ao redor do mundo para prever os níveis de poluição em áreas costeiras e comunicar ao público quando os níveis de segurança para banho ou consumo de moluscos podem estar comprometidos. Um dos tipos de modelos comumente utilizados são os

baseados em regressão, que utilizam equações matemáticas simples para correlacionar um conjunto de variáveis explicativas a uma variável resposta, que normalmente é a concentração de bactérias indicadoras da presença de poluição fecal (Ex: coliformes) na água ou nos moluscos cultivados. As variáveis explicativas comumente utilizadas incluem características de uso ou cobertura do solo, população humana ou animal, dados meteorológicos e hidrológicos.

Estudos recentes da Epagri (SOUZA, 2017) resultaram no desenvolvimento de modelos baseados em regressão que permitem prever os níveis de coliformes nas águas utilizadas para o cultivo de moluscos nas Baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina e nos próprios animais. Tais modelos apresentam poder preditivo equivalente a outros similares

Recebido em 23/7/2018. Aprovado para publicação em 1/11/2018.

<http://dx.doi.org/10.22491/RAC.2019.v32n3.2>

¹ Médico Veterinário, Dr., Epagri/Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, e-mail: robsonsouza@epagri.sc.gov.br

² Biólogo Marinho, PhD., Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science, Weymouth, Inglaterra, e-mail: carlos.campos@cefas.co.uk

³ Engenheiro Civil, Dr., Epagri/Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, Dr., Universidade Federal de Santa Catarina, CEP 88034-000, Florianópolis, SC, e-mail: Walter.seiffert@ufsc.br

utilizados em diversas partes do mundo e, apesar de serem baseados em conceitos simples, seus resultados têm precisão comparável e até melhor que os de modelos mais complexos descritos na literatura (KASHEFIPOUR et al., 2006; HELLWEGER & MASOPUST, 2008; BEDRI et al., 2016). Este documento objetiva apresentar os principais achados desses estudos da Epagri de forma didática e sugerir aplicações práticas para técnicos da área de maricultura, pesca e gestão de recursos hídricos que atuam na região.

Como foram desenvolvidos os modelos

Foram usadas como base para o estudo concentrações de coliformes medidas na água e em mexilhões *Perna perna* produzidos em fazendas marinhas durante dois períodos em que a Epagri realizou estudos sobre níveis de coliformes nas baías: períodos de 2009/2010 e 2012/2013. Os resultados de um dos períodos foram utilizados para desenvolver e “treinar” o modelo e os de outro período para verificar sua precisão, ou seja, validar o modelo.

Primeiramente foram investigadas as variáveis que poderiam ser usadas para prever *onde* se espera que ocorram

os maiores níveis de poluição; para isso foram desenvolvidos os chamados “modelos espaciais”. As variáveis explicativas testadas nesses modelos foram: 1. As áreas de bacias hidrográficas que deságuam nas proximidades dos locais de medição de coliformes; 2. Suas respectivas áreas urbanas; 3. A percentagem de área urbanizada dessas bacias; 4. A população humana residente nessas bacias. Além de identificar as melhores variáveis explicativas, o estudo investigou a que distância das áreas de aquicultura estão localizadas as bacias hidrográficas que influenciam a qualidade microbiológica da água e dos moluscos.

Posteriormente foram investigadas as variáveis que poderiam ser usadas para prever *quando* se espera que ocorram os maiores níveis de poluição. Para isso foram desenvolvidos os chamados “modelos temporais”. As variáveis explicativas testadas nesses modelos foram: 1. Precipitação; 2. Radiação solar; 3. Temperatura do ar. Além de testar quais as melhores variáveis explicativas, o estudo investigou as melhores janelas temporais para correlacionar essas variáveis com a qualidade microbiológica da água e dos moluscos. Por exemplo, o estudo se propôs a determinar se uma chuva que ocorre a cinco, dez ou 20 dias antes da medição de coliformes influencia na qualidade da água.

Finalmente, um único modelo foi desenvolvido para integrar as variáveis que melhor se correlacionaram tanto com as variações temporais quanto com as espaciais das concentrações de coliformes, de forma que seja possível prever utilizando uma única equação *onde* e *quando* ocorrem os maiores níveis de poluição de origem fecal nas baías.

A população humana vivendo em bacias hidrográficas próximas à costa é o parâmetro que melhor explica onde ocorrerão os maiores níveis de poluição fecal na água e nos moluscos

Entre as variáveis explicativas testadas, a população residente das bacias hidrográficas foi a que permitiu prever com maior precisão *onde* ocorrem os maiores níveis de coliformes. A relação é direta, isto é, quanto maior a população humana habitante de bacias que deságuam na costa, maiores os níveis de coliformes na água e nos moluscos cultivados. O estudo mostrou que é a população humana de bacias hidrográficas que deságuam a até 1,7km dos pontos de medição de coliformes que melhor se correlaciona com os níveis de poluição aquática. Para prever os níveis de coliformes nos moluscos, os melhores resultados foram obtidos ao considerar a população humana de bacias que deságuam a até 2,9km (Figura 1).

Aplicação prática: é possível usar ►

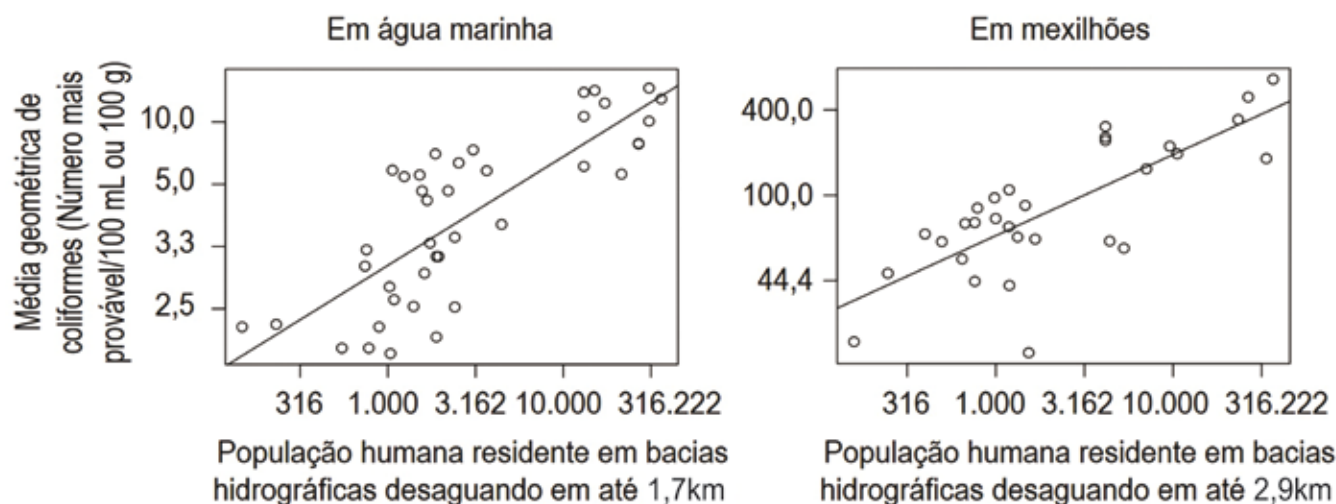


Figura 1. Modelos desenvolvidos para prever níveis de coliformes em água (Y1) e mexilhões (Y2) com base na população humana residente nas bacias hidrográficas desaguando em até 1,7km (X1) e 2,9km (X2). Modelo para água marinha ($R^2 = 0.63$): $Y1 = -1/[-0.85414 + 0.17458 \cdot \log_{10}(X1)]$; Modelo para mexilhões ($R^2 = 0.59$): $Y2 = -1/[-1.14169 + 0.19137 \cdot \log_{10}(X2)]$.

Figure 1. Models developed to predict coliform levels in water (Y1) and mussels (Y2) based on the human population living in the watersheds debouching in up to 1.7km (X1) and 2.9km (X2). Model for marine water ($R^2 = 0.63$): $Y1 = -1/[-0.85414 + 0.17458 \cdot \log_{10}(X1)]$; Model for mussels ($R^2 = 0.59$): $Y2 = -1/[-1.14169 + 0.19137 \cdot \log_{10}(X2)]$.

esses modelos para definir zonas com maiores ou menores riscos microbiológicos para consumidores de moluscos com base na população humana residente nas bacias hidrográficas de entorno. Os resultados dos estudos mostram ainda que não são apenas os rios ou fontes de poluição próximos às áreas de cultivo que influenciam a qualidade da água ou dos moluscos. Rios localizados a mais de um quilômetro da área de interesse podem ter influência significativa sobre a qualidade da água e dos animais. Já rios localizados a mais de três quilômetros parecem não ter significativa influência sobre a qualidade microbiológica da água e dos moluscos.

A chuva e a radiação solar acumulada nos últimos dias explicam quando ocorrerão os maiores níveis de poluição fecal na água

Entre as variáveis explicativas testadas, a chuva e a radiação solar foram aquelas que permitiram prever *quando* ocorrem os maiores níveis de coliformes na água das baías. A correlação com a chuva é direta, isto é, quanto maior os níveis de chuva, maiores os níveis de poluição fecal na água. Porém, não é apenas a chuva que ocorre no dia da medição dos níveis de coliformes

que importa. O estudo mostrou que é a chuva acumulada nos últimos seis a sete dias a que melhor explica quando ocorrerão os maiores níveis de poluição na água das baías. Já a correlação com a radiação solar é inversa, isto é, quanto maior a radiação solar, menores os níveis de coliformes na água. Nesse caso, não somente a radiação no dia da medição dos coliformes importa, mas também a do dia anterior (Figura 2).

Aplicação prática: É possível prever a qualidade microbiológica da água considerando a chuva que ocorreu nos últimos seis a sete dias e a insolação dos últimos dois dias. Períodos precedidos por pouca chuva e com céu aberto são aqueles em que se espera os menores níveis de coliformes na água e, conseqüentemente, o menor risco de doenças relacionadas ao contato com a água. Já períodos chuvosos e com céu encoberto são os que oferecem maior risco, como é o caso da entrada de frentes frias, fenômeno bastante comum no inverno da região Sul do Brasil.

A chuva e a radiação solar não explicam quando ocorrerão os maiores níveis de coliformes nos mexilhões

Quando se testou as mesmas variáveis explicativas para prever os níveis

de coliformes nos mexilhões, nenhuma correlação significativa foi obtida. Isto é, não foi possível prever *quando* ocorrem os maiores níveis de coliformes nos mexilhões com base na chuva ou na radiação solar, diferente do que foi observado para a água.

Aplicação prática: Os níveis de coliformes nos mexilhões parecem ser pouco ou não responsivos às condições meteorológicas. Assim sendo, medidas tomadas em outros países, como a proibição da colheita de moluscos em condições meteorológicas específicas, não se justificariam para os mexilhões cultivados no ambiente estudado. Futuros estudos são recomendados para investigar mais a fundo essa questão e para verificar se esse resultado se aplica para outras espécies de moluscos, como as ostras.

É possível prever onde e quando ocorrerão os maiores níveis de poluição fecal na água com base em uma única equação

O estudo conseguiu desenvolver um único modelo para prever onde e quando ocorrerão os maiores níveis de poluição nas águas das fazendas marinhas. Usando como entrada para o modelo uma base de dados especializada de população humana residente nas bacias hidrográficas, a chuva acumulada nos últimos seis a sete dias e a radiação solar acumulada dos últimos dias foi possível gerar mapas com os níveis de coliformes estimados para toda a região costeira das baías.

Aplicação prática: Esse modelo pode ter múltiplas aplicações: 1. Simular diferentes cenários meteorológicos e prever os níveis esperados de coliformes; 2. Estimar os níveis de coliformes na água em tempo real usando dados obtidos de estações meteorológicas; 3. Prever como estarão os níveis de coliformes nos próximos dias usando como dados de entrada as previsões de modelos meteorológicos, como aqueles que são usados para fazer previsão do tempo.

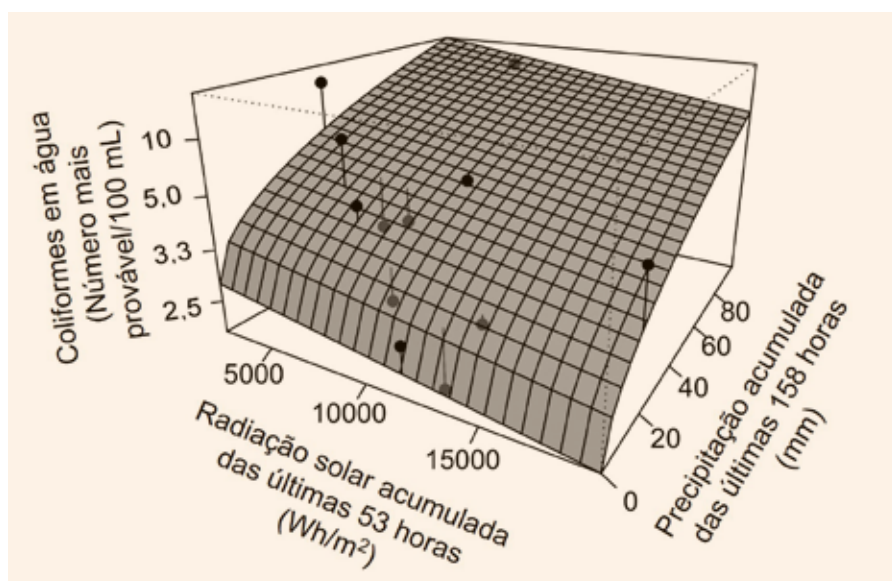


Figura 2. Modelo desenvolvido ($R^2 = 0.66$) para prever níveis de coliformes em água em termos de MPN/100mL-1 (Y) com base na radiação solar acumulada das últimas 53 horas (WH/m²) (X1) e precipitação acumulada das últimas 158 horas (milímetros) (X2): $Y = -1/[-4.299e-01 - 1.873e-05 * X1 + 2.740e-02 * (X2^{0.5})]$.

Figure 2. Model developed ($R^2 = 0.66$) to predict coliform levels in water terms of MPN / 100mL (Y) based on solar accumulated radiation of the last 53 hours (WH / m²) (X1) and cumulative precipitation of last 158 hours (millimeters) (X2): $Y = -1/[-4.299e-01 - 1.873e-05 * X1 + 2.740e-02 * (X2^{0.5})]$.

Considerações finais

Os modelos desenvolvidos possuem potencial de aplicação imediato em ações de proteção de saúde pública nas baías da Ilha de Santa Catarina. Os mo-

delos espaciais podem auxiliar na definição dos pontos de coleta de moluscos para monitoramento microbiológico e controle da colheita, trabalho atualmente realizado pela Cidasc. Modelos temporais se mostraram uma ótima alternativa para prever as variações temporais de níveis de coliformes na água. O mesmo raciocínio utilizado para desenvolver os modelos para as áreas de cultivo de moluscos poderia ser usado para o desenvolvimento de um sistema para fazer previsões diárias dos níveis de coliformes em águas balneares. Dessa forma, seria possível comunicar o público em geral e instituições de proteção de saúde pública quando níveis alarmantes de contaminação fecal forem previstos na água. Uma ação dessa natureza pode beneficiar não só os pescadores, maricultores e banhistas ao prevenir doenças de origem microbiana relacionadas ao contato com a água das

baías, mas também facilitar o registro desses casos pelos mecanismos de vigilância epidemiológica.

Referências

BEDRI, Z.; CORKERY, A.; O'SULLIVAN, J.J.; DEERING, L.A.; DEMETER, K.; MEIJER, W.G.; O'HARE, G.; MASTERSON, B. Evaluating a microbial water quality prediction model for beach management under the revised EU Bathing Water Directive. **Journal of Environment Management**, v.167, p.49-58, 2016.

HELLWEGER, F.L.; MASOPUST, P. Investigating the fate and transport of *Escherichia coli* in the Charles River, Boston, using high-resolution observation and modeling. **Journal of the American Water Resources Association**, v.44, p.509-522, 2008.

KASHEFIPOUR, S.M.; LIN, B.; FALCONER, R.A. Modelling the fate of faecal indicators in a coastal basin. **Water Research**, v.40, p.1413-1425, 2006.

MDR, 2014. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

SANTUR. **Programa de promoção do turismo catarinense**: ação: estudos e pesquisas de turismo estudo da demanda turística. Santa Catarina: Santur, 2017. Disponível em: <turismo.sc.gov.br/institucional/index.php/pt-br/informacoes/estatisticas-e-indicadores-turisticos/category/39-pesquisa-de-demanda-turistica-alta-temporada-anual-2008-2016?download=275:santa-catarina-alta-temporada-2008-2016>. Acesso em: 25 jul. 2018.

SOUZA, R. V. **Modelagem estatística da contaminação microbiológica de áreas de cultivo de moluscos bivalves**. 2017. 138f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2017. ■

Avalie regularmente a qualidade da água que você consome.

Laboratórios de Análises de Águas:

Fone : (49) 3328-4277
E-mail: cepaf@epagri.sc.gov.br
Chapecó, SC

Fone: (48) 3465-1933
E-mail: eeur@epagri.sc.gov.br
Urussanga, SC

Fone: (49) 3341-5244
E-mail: eei@epagri.sc.gov.br
Itajaí, SC

